

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ

М.Ю. Сурков, А.А. Сидорова  
Томский политехнический университет  
E-mail: mys12@tpu.ru

## Введение

Одним из наиболее распространенных видов аппаратов на объектах промышленного сбора, подготовки нефти и газа к транспорту являются сепараторы, предназначенные для отделения газовой, жидкой фаз и механических примесей от нефти [1].

На установках подготовки нефти ключевыми вопросами являются не только безопасность и надежность технологического процесса, но и улучшение качества нефти, что позволяет повысить прибыльность предприятия. Качество подготовки нефти напрямую зависит от процесса сепарации, протекающего в горизонтальных, вертикальных сепараторах и гидроциклонах [2].

Цель работы – описание модели трехфазного горизонтального сепаратора системы управления процессами подготовки нефти и разработка динамические модели сепаратора для газовой, водяной и нефтяной фаз.

## Описание процесса

Рисунок 1 представляет собой схему трехфазного горизонтального сепаратора. Водонефтяная эмульсия при поступлении в сепаратор проходит через отбойник, таким образом, пузырьки газа с жидкостью при столкновении разрываются, газ отделяется; жидкость не распыливается выше границ раздела фаз газ/нефть или нефть/вода, обеспечивая первоначальную сепарацию в пределах границ фаз газ/нефть и нефть/вода.

Газовая фаза заполняет верхнюю часть горизонтального сепаратора. Газ, отделившийся от водонефтяной эмульсии, проходит через секцию гравитационного осаждения капель (каплеотбойник) и через клапан уходит в линию для дальнейшего использования на собственные нужды, в газовый сепаратор для очищения или на факел.

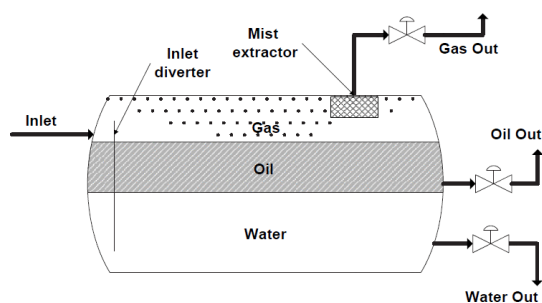


Рис. 1. Схема трехфазного горизонтального сепаратора

## Математическое моделирование

Для описания сложного технологического процесса, протекающего в горизонтальном сепараторе, необходимо рассмотреть и построить математическую модель для каждой фазы отдельно.

**Жидкая фаза.** Капли водонефтяной эмульсии поднимаются от нижней части сепаратора к поверхности раздела фаз (см. рисунок 2). Всплывающая капля в процессе приближения к границе раздела фаз нефть/вода подвергается вертикальной составляющей скорости подъема  $U_u$ , которая описывается законом Стокса, и горизонтальной составляющей скорости подъема  $U_h$ , которая определяется схемой потока пробки водной фазы. На основании закона Стокса компонент вертикальной скорости оценивается по уравнению (1):

$$U_u = 1.7886 \cdot 10^{-6} \frac{(SG_h - SG_w) d_m^2}{\mu_w}, \quad (1)$$

где  $SG_h$ ,  $SG_w$  - удельный вес углеводородных капель и воды, соответственно,  $d_m$  - диаметр капель в микронах, а  $\mu_w$  - вязкость воды при 100 °F.

Компонент горизонтальной скорости оценивается по удержанию водной фазы, исходя из уравнения (2):

$$U_h = \frac{L}{\tau}, \quad (2)$$

где  $L$  - длина сепаратора, а  $\tau = \frac{V_{wat}}{F_{wat}}$  - время удерживания водной фазы;  $V_{wat}$  - это объем водной фазы, а  $F_{wat}$  - это отток воды.

Уровень границы раздела нефть-вода  $h$  определяется из уравнений (3):

$$\begin{aligned} A_c &= \frac{V_{wat}}{L} = R^2 \theta - 0.5 R^2 \sin(2\theta), \\ h &= R(1 - \cos(\theta)), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $A_c$  - площадь поперечного сечения водной фазы,  $R$  - радиус сепаратора, а  $\theta$  - угол, который определяет круговой сектор площади поперечного сечения  $A_c$ .

Угол  $\Phi$  самого длинного пути капли к границе раздела фаз нефть/вода определим по уравнению (4):

$$\Phi = \tan^{-1} \frac{U_u}{U_h}. \quad (4)$$

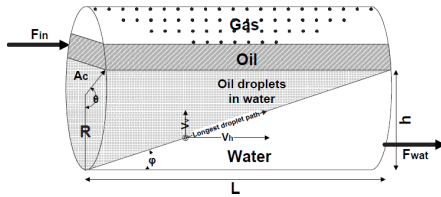


Рис. 2. Гидродинамика отделения нефти в нормальных условиях эксплуатации

Динамический материальный баланс водной фазы представим в уравнениях (5-8):

$$F_{h1U} = \frac{\varepsilon(Z_g + Z_o)F_{in}M\omega_h}{62.43SG_h}, \quad (5)$$

$$F_{h1U} = \frac{(1-\varepsilon)(Z_g + Z_o)F_{in}M\omega_h}{62.43SG_h}, \quad (6)$$

$$F_{Wat} = \frac{Z_o F_{in} M \omega_o}{62.43 SG_o} + F_{h2U}, \quad (7)$$

$$\frac{dV_{Wat}}{dt} = \frac{F_{in} M \omega_{in}}{62.43 SG_{in}} - F_{Wat} - F_{h1U}, \quad (8)$$

где  $\{M\omega_h, M\omega_o, M\omega_{in}\}$  - молекулярные массы углеводородов, воды и поступающей смеси;  $\{SG_h, SG_o, SG_{in}\}$  - удельный вес углеводородов, воды и поступающей смеси;  $V_{Wat}$  - объем водной фазы; и  $F_{Wat}$  - объемный расход воды.

**Нефтяная фаза.** Необходимым является оценить количество газа, которое выделяется из водонефтяной эмульсии. Можно сказать, сколько, Используя закон Рауля, определим количество метана, удерживаемого в нефтяной фазе [3] по уравнению (9):

$$y_i P = x_i P_{Ui}, \quad (9)$$

где  $y_i$  - мольная доля  $i$ -ГО компонента в газовой фазе,  $x_i$  - мольная доля  $i$ -ГО компонента в жидкой фазе,  $P$  - общее давление газовой фазы, а  $P_{Ui}$  - давление газа  $i$ -ГО компонента.

Мольная доля метана составляет  $y = 1$  в газовой фазе, а в жидкой фазе, равна  $x = \frac{P}{P_U}$ , так как в составе лишь один лёгкий углеводород. Учитывая состав  $\{Z_{g1}, Z_{o1}\}$  выделяемого углеводородного потока  $F_{h1}$ , оценим количество метана  $F_{g1}$  и метана растворенного в нефтяной фазе  $F_{g2}$ . Динамическую модель нефтяной фазы опишем уравнениями материального баланса (10-15):

$$F_{g1} = (1-x)Z_{g1}F_{h1}, \quad (10)$$

$$F_{g2} = xZ_{g1}F_{h1}, \quad (11)$$

$$F_{Oout} = F_o + F_{g2}, \quad (12)$$

$$\frac{dN_{oil}}{dt} = F_{h1} - F_{g1} - F_{Oout}, \quad (13)$$

$$M\omega_{o1} = xM\omega_g + (1-x)M\omega_o, \quad (14)$$

$$SG_{o1} = \frac{xM\omega_g N_{oil} + (1-x)M\omega_o N_{oil}}{\frac{xM\omega_g N_{oil}}{SG_g} + \frac{(1-x)M\omega_o N_{oil}}{SG_o}}, \quad (15)$$

где  $N_{oil}$  - количество жидких молей в нефтяной фазе;  $F_o$  - молярный компонент нефти в потоке разгрузки нефти  $F_{Oout}$ ;  $\{M\omega_g, M\omega_o\}$  - молекулярная масса газа и нефти;  $\{SG_g, SG_o\}$  - удельный вес газа и нефти.

**Газовая фаза.** Учитывая допущение закона идеального газа, опишем газовую фазу сепаратора уравнением материального баланса (16):

$$\frac{dN_{gas}}{dt} = F_{g1} - F_{gout},$$

$$V_{oil} = \frac{M\omega_{o1}N_{oil}}{62.43SG_{o1}}, \quad P = \frac{N_{gas}RT}{V_{gas}}, \quad (16)$$

$$V_{gas} = V_{sep} - V_{Wat} - V_{oil}.$$

где  $N_{gas}$  - число молей газа в газовой фазе;  $F_{gout}$  - молярный отток газа из сепаратора;  $\{V_{oil}, V_{gas}, V_{sep}\}$  - объемы нефтяной фазы, газовой фазы и сепаратора, соответственно;  $R$  - универсальная газовая постоянная;  $T$  - абсолютная температура сепаратора.

## Заключение

В результате выполненной работы была описана работа трехфазных сепараторов, разработана динамическая модель сепаратора для каждой фазы. В качестве практического применения полученных результатов в дальнейшем необходимо сначала разработать гравитационный трёхфазный сепаратор на программном обеспечении, а после смоделировать на базе реального оборудования.

## Список использованных источников

1. Сепараторы в системах подготовки нефти и газа к транспортировке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studwood.ru/1699129/tova-rovedenie/separatory\\_v\\_sistemah\\_podgotovki\\_nef\\_t\\_i\\_gaza\\_k\\_transportirovke](https://studwood.ru/1699129/tova-rovedenie/separatory_v_sistemah_podgotovki_nef_t_i_gaza_k_transportirovke) (дата обращения: 13.11.2019).
2. Сидорова А.А. Разработка системы управления подготовкой нефти// Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных/ ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – С. 213-214.
3. Уравнение состояния идеального газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studall.org/all3-125684.html> (дата обращения: 02.12.2019).